



FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS DA UFRGS

Análise Econômica

ANÁLISE REGIONAL DAS MESORREGIÕES DO ESTADO DO
PARANÁ NO FINAL DO SÉCULO XX
JANDIR FERRERA DE LIMA, LUCIR REINALDO ALVES, MOACIR
PIFFER E CARLOS ALBERTO PIACENTI

CUSTO NA DÍVIDA PÚBLICA INTERNA DA REDUÇÃO DA
VULNERABILIDADE EXTERNA BRASILEIRA ATRAVÉS DO
AUMENTO DAS RESERVAS INTERNACIONAIS
ROBERTO MEURER

DETERMINAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO
UNIVARIADO PARA PREÇOS DE LEITE PAGOS AOS
PRODUTORES EM SANTA CATARINA
ARLEI LUIZ FACHINELLO E MIRIAN RUMENOS PIEDADE BACCHI

VIABILIDADE DE ESTRATÉGIAS DE HEDGE COM
CONTRATOS FUTUROS DE BOI GORDO NO BRASIL
DIANA DE MEDEIROS BAPTISTA E DANILO ROLIM DIAS
DE AGUIAR

ATAQUES ESPECULATIVOS E CRISES CAMBIAIS NA
ARGENTINA E NO BRASIL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA
KELLEN FRAGA DA SILVA E FERNANDO FERRARI FILHO

A TEORIA DOS FUNDOS DE EMPRÉSTIMOS: UM ESTUDO
DOS MODELOS AGREGADOS NEOCLÁSSICO E
KEYNESIANO
ALAIN HERSCOVICI

CRIME ECONÔMICO NO PARANÁ: UM ESTUDO DE CASO
SALETE POLONIA BORILLI E PERY FRANCISCO ASSIS SHIKIDA

APLICAÇÃO DA NOVA ECONOMIA INSTITUCIONAL AO
AMBIENTE PORTUÁRIO: ANÁLISE DOS CUSTOS DE
TRANSAÇÃO NO PORTO DE SANTOS
CINTIA RETZ LUCI, ALCINDO FERNANDES GONÇALVES E
ROBERTO FAVA SCARE

REDUÇÃO DE MANDATOS LEGISLATIVOS: O DEBATE
ADORMECIDO
FRANCISCO JOSÉ DE QUEIROZ PINHEIRO, CHARLES LIMA DE
ALMEIDA E TITO BELCHIOR SILVA MOREIRA

ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE
TERMINAÇÃO DE SUÍNOS COM A APLICAÇÃO DOS
CONJUNTOS FUZZY
JULIO EDUARDO ROHENKOHL, ORLANDO MARTINELLI E MARCOS
ALVES DOS REYS

RESENHA: THE GLOBAL EVOLUTION OF INDUSTRIAL
RELATIONS EVENTS, IDEAS AND THE IIRA
CARLOS HENRIQUE HORN

ANO 24

Nº 46

Setembro, 2006

A Revista Análise Econômica agradece a colaboração dos pareceristas dos números 45 e 46, abaixo relacionados

Abraham Benzaquen Sicsu
Adelar Fochezatto
Ademar Ribeiro Romeiro
Ademir Clemente
Alexandre Stamford da Silva
Ana Lucia Kassouf
Andre Luis Rossi de Oliveira
Andre Tosi Furtado
Andrea Sales Soares de Azevedo Melo
Angela Antonia Kageyama
Antonio Wilson Ferreira Menezes
Armando João Dalla Costa
Bernardo Mueller
Carlos Frederico Leao Rocha
Claudio Roberto Fóffano Vasconcelos
Cláudio Djissey Shikida
Clesio Lourenco Xavier
Dulio de Ávila Berni
Eliezer Martins Diniz
Emerson Fernandes Marçal
Eugenio Lagemann
Fernando Ferrari Filho
Francisco Casimiro Filho
Franklin Leon Peres Serrano
Frederico Gonzaga Jayme Jr.
Geraldo Edmundo Silva Jr.
Helder Ferreira de Mendonça

Helder Queiroz Pinto Junior
Izabel Cristina Takitane
Joaquim José Martins Guilhoto
Jailson Dias
Jose Gabriel Porcile Meirelles
José Rubens Damas Garlipp
Julio César de Oliveira
Lovois de Andrade Miguel
Marcelo Savino Portugal
Marcio Holland de Brito
Marco Aurelio Crocco Afonso
Marcos Costa Holanda
Mônica Viegas Andrade
Paulo Dabdab Waquil
Paulo Sergio Fracalanza
Pedro Bandeira
Pedro Valentim Marques
Pery Francisco Assis Shikida
Renato Leite Marcondes
Roberto Camps Moraes
Ronald Otto Hilbrech
Ronaldo de Albuquerque e Arraes
Ronaldo Seroa da Motta
Thompson Almeida Andrade
Tito Belchior Silva Moreira
Valmor Marchetti
Vladimir Kuhl Teles

Análise econômica e ambiental de sistemas de terminação de suínos com a aplicação dos conjuntos *fuzzy*

Julio Eduardo Rohenkohl*

Orlando Martinelli**

Marcos Alves dos Reis***

Resumo: O artigo analisa dois sistemas de terminação de suínos (o de cama sobreposta e o de esterqueira) quanto aos seus condicionantes econômicos e ambientais. Estuda-se o caso da produção de suínos no Vale do Caí (RS). A partir da teoria dos conjuntos fuzzy é construído um modelo analítico que incorpora e hierarquiza as variáveis econômicas – através do cálculo dos custos de produção da terminação de suínos –, e as variáveis de impacto ambiental – no ar, no solo e na água – permitindo a análise do impacto econômico e ambiental total de cada sistema de terminação. O mesmo modelo pode ser utilizado para hierarquizar outros sistemas de criação e controle de dejetos.

Palavras-chave: sistemas de terminação de suínos; impacto ambiental; teoria dos conjuntos *fuzzy*.

Abstract: The article analyses two hogs finishing systems (deep bedding and manure layer) in respect to economical and environmental aspects. The article focus on the swine production at Vale do Caí region (Rio Grande do Sul State). From the fuzzy sets theory an analytical model is built adding and putting the economical variables in a hierarchical mode – through the calculation of the hogs finishing production costs –, and the variables of the environmental impact – in the air, soil and water sources – allowing the analysis of the total economical and environmental impact of each finishing system. The same model can be used to put in hierarchical mode other breeding and manure control systems.

Keywords: hogs finishing systems; environmental impact; fuzzy sets theory.

JEL Classification: Q5 Environmental Economics (Q51, Q53, Q55, Q56).

* Doutorando do programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural da UFRGS.
E-mail: julioroh@hotmail.com

** Professor do Departamento de Economia da UFSM. E-mail: martinelli@smail.ufsm.br

*** Professor do Departamento de Educação Agrícola e Extensão Rural UFSM.
E-mail: marcosreys@smail.ufsm.br

Recebido em março de 2006. Aceito em julho de 2006

Introdução

O desenvolvimento sustentável é um tema cada vez mais importante nas agendas de pesquisas de sistemas produtivos rurais. Embora haja diversas definições, é inegável que o desenvolvimento agrícola sustentável está associado a um sistema que é dependente da conformação do contexto local e das inter-relações econômicas, sociais e ambientais. (CLAYTON & RADCLIFFE, 1996; BECKER, 1997; MATTHEWS, 1996; CORNELISSEN, *et al.* 2001).

Este trabalho tem como objetivo analisar e discutir os sistemas de terminação confinada de suínos e controle de dejetos – o de cama sobreposta e o com uso de esterqueira. A partir de modelos *fuzzy* de impacto econômico e ambiental busca-se verificar, por comparação, qual o sistema de terminação é superior, considerando, respectiva e simultaneamente, o potencial de impacto ambiental negativo e os custos econômicos de cada um.¹ Estuda-se o caso dos terminadores de suínos da encosta do Vale do Caí, no Rio Grande do Sul, uma das regiões produtoras mais representativas do Estado (ROHENKOHL, J.E. 2003).

O artigo está estruturado da seguinte forma. Após esta breve introdução, segue uma descrição dos condicionantes dos sistemas de terminação de suínos. Em seguida é apresentada a seção da metodologia adotada no trabalho, ampliando a discussão sobre a utilidade do uso dos conjuntos *fuzzy* neste tipo de objeto e relatando os procedimentos sobre a amostra, a coleta de dados e as regras de formação das variáveis linguísticas dos modelos *fuzzy*. Na última seção tem-se uma discussão sobre os resultados e são feitas algumas considerações finais.

Os condicionantes dos sistemas de terminação de suínos

Embora a produção de suínos seja uma importante atividade geradora de emprego e renda, a atividade também implica dano ambiental devido ao lançamento de dejetos produzidos durante a criação dos animais.²

¹ Embora ainda pouco difundido entre os economistas, a teoria dos conjuntos *fuzzy* tem sido um recurso teórico e metodológico importante e apropriado para tratar analiticamente de situações em que estão presentes decisões complexas envolvendo concomitantemente aspectos econômicos e ambientais. (CORNELISSEN, A *et al.*, 2001; BOJADIZIEV, G.; BOJADIZIEV, M., 1995; ZIMMERMANN, H. J., 1991; ALVES DOS REYS, 2003).

² O lançamento indiscriminado de dejetos não tratados nas águas e no solo pode provocar doenças (verminoses, alergias, hepatite), proliferação de insetos, mau cheiro, morte de peixes e animais. A digestão anaeróbia em lagoas descobertas implica emissão de metano. Há a liberação de amônia (que contribui indiretamente para a chuva ácida), gás carbônico, óxido de nitrogênio, contribuintes para a formação do chamado “efeito estufa”, e compostos de enxofre (sulfeto de hidrogênio) na atmosfera.

O sistema integrado de suínos pode ser dividido em 3 etapas básicas e sequenciais. A primeira etapa é a do melhoramento genético, a segunda é a da obtenção de leitões em unidades especializadas, e a terceira etapa – o sistema de *terminação de suínos* – é a do crescimento e de ceva dos leitões para o abate. Nesta etapa há dois tipos mais utilizados, quais sejam, o *sistema confinado intensivo* com o controle de dejetos através de *esterqueiras* (o mais antigo e difundido entre os terminadores), e o *sistema confinado intensivo de cama sobreposta*, ainda em fase de difusão.

Os dois sistemas de terminação considerados apresentam diferenças nos aspectos econômicos, nos níveis de produtividade e nos impactos ambientais. No plano ambiental, destacam-se as práticas de manejo dos animais, a composição e volume dos dejetos, o destino dado aos dejetos, o odor, e o consumo de água. O sistema de cama sobreposta produz dejetos sólidos, em uma mistura de esterco com o substrato usado como cama (no caso ora analisado, casca de arroz). Isso implica a maior emissão de dióxido de carbono e o maior consumo de água potável. O sistema de esterqueira, por sua vez, é um sistema de digestão anaeróbia, que resulta na emissão de amônia, além de aumentar o risco de contaminação ambiental dos cursos de água e do solo.

No plano econômico, há diversos fatores que afetam diferentemente a composição dos custos dos tipos de terminação, desde os mais simples de serem computados, tais como os custos das instalações físicas das pocilgas, até os mais complexos, tais como os custos de manejo dos dejetos, que são afetados pelas condições ambientais do local da terminação. Por exemplo, no sistema de terminação de cama sobreposta, a imobilização de capital em instalações é menor, levando a uma depreciação por quilo de animal produzido também menor. No entanto, há o adicional do custo de reposição da cama. Por outro lado, no sistema de esterqueiras as instalações são mais caras, e o volume de dejetos transportado tende a ser maior, implicando significativo dispêndio de energia.

Na perspectiva do suinocultor, os fatores mais relevantes para a escolha do sistema de terminação tendem a ser os fatores econômicos, tais como a minimização do custo de produção e a maximização das possibilidades de utilização de subprodutos derivados da atividade (e.g. o uso de dejetos como adubos em áreas plantadas da propriedade). De outro lado, na perspectiva dos técnicos e das instituições envolvidos com a proteção do ambiente, em geral, são privilegiados os fatores que geram maior eficiência de proteção ambiental, preterindo os aspectos econômicos.

É evidente, assim, a complexa imbricação dos elementos objetivos e subjetivos³ que balizam critérios de decisão para o sistema de

³ A percepção de poluição por vezes é complexa. O odor, por exemplo, é uma forma relevante, utilizada e pouco objetiva (de difícil quantificação).

terminação mais adequado. A construção de uma matriz de decisão a partir de critérios puramente objetivos visando à obtenção de uma possível “escolha ótima” (que considere a complexidade dos aspectos econômicos e ambientais dos sistemas de terminação) não é uma tarefa banal.

1. Os conjuntos *fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite lidar com problemas em que a imprecisão não resulta do comportamento aleatório das variáveis, mas da ausência de critérios claramente definidos de pertinência a um determinado conjunto. As variáveis linguísticas (palavras ou sentenças) podem assumir valores, cujos graus de precisão não podem ser mensurados com certeza (ZADEH, 1973; SILVERT, 1997; RAGIN, 2000). Os conjuntos *fuzzy* são uma ferramenta útil em temas da produção animal – como o conforto térmico (OLIVEIRA *et al.*, 2005), efeito de sazonalidade na produtividade (STRANDBERG E GRANDINSON, 1997) – e resolução conjunta de fatores econômicos e ambientais (CORNELISSEN *et al.*, 2001).

Uma aplicação ilustrativa simples é a tentativa de se definir e classificar o grau de poluição de um determinado ambiente, não controlado, pela emissão de NH_3 (amônia). O termo “poluído” é um valor linguístico assumido pela variável linguística “poluição”, com graus de imprecisão e vagueza inerentes à complexidade da situação. Uma vez que é difícil definir com precisão o quão poluído o ambiente está, pode ser mais relevante e analiticamente mais robusto perceber se o ambiente está “poluído”, “pouco poluído”, “razoavelmente poluído”, “muito poluído”, “completamente poluído”. A variável base “partículas por milhão (ppm) de NH_3 ” é gradualmente associada ao valor “poluído” da variável linguística “poluição”.

Ao se utilizar a lógica clássica dos conjuntos, o grau de pertinência à função correspondente seria dicotômico: as variáveis assumiriam valores 0 ou 1, os únicos possíveis (por exemplo: se $x = 0 \rightarrow$ ambiente não poluído; se $x = 1 \rightarrow$ ambiente poluído). Os valores significam simplesmente pertencer ou não pertencer ao conjunto respectivo. A lógica *fuzzy*, diferentemente, atribui um grau de pertinência (no nosso caso representado pela letra grega μ) à “verdade” (o que se percebe), ou ao significado da variável linguística, que varia entre 0 e 1. No exemplo anterior, quanto mais próximo μ estiver de 1, mais se pode dizer que o ambiente está (ou aparenta, ou é percebido) poluído. Isto permite captar a aproximação gradual da variável linguística “poluição”.

Um conjunto *fuzzy* é definido matematicamente através da atribuição de um valor, representando o grau de pertinência ao conjunto de cada indivíduo no universo. Este grau de pertinência representa a semelhança deste indivíduo ao significado que dá identidade ao

conjunto. Em termos formais tem-se: seja X um conjunto não vazio, o conjunto fuzzy A é definido como:

$$A = \{ \mu_A(x) / x, x \in A, \mu_A(x) \in [0,1] \}.$$

A função de pertinência é definida como $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, a qual associa cada elemento x em X através de um número $\mu_A(x)$ no intervalo $[0,1]$. O número $\mu_A(x)$ representa o grau de pertinência de x a A . Quando se trabalha com diversos conjuntos podem-se utilizar “operadores” (ZIMMERMANN, 1991; BOJADIZIEV E BOJADIZIEV, 1995). Neste trabalho serão utilizados dois operadores: o da *interseção* e o da *união*.

A interseção de dois conjuntos, A e B , representada por $A \cap B$, define o maior conjunto fuzzy que contenha A e B . A função de pertinência de $A \cap B$ é $\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x))$, $x \in X$, onde Min é mínimo dos graus de pertinência. Esta noção de interseção é próxima do conectivo lógico “e”.

A união de dois conjuntos A e B é representada por $A \cup B$, definindo o menor conjunto fuzzy que contenha A e B . A função de pertinência é dada por $\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x))$, $x \in X$, onde Max é o máximo. A noção de união de A e B tem significado próximo do conectivo lógico “ou”.

A *defuzzificação*, por sua vez, é um método que permite a hierarquização da situação resultante das condições do modelo fuzzy colocadas anteriormente. Neste trabalho utilizou-se o método de *defuzzificação* da Média dos Máximos (MM), que permitiu a comparação de Impacto Econômico-Ambiental Total (IEAT) dos diferentes sistemas de terminação. Em termos matemáticos a MM é dada por: $MM = [(xa + xb) / 2]$, sendo $x \in X$, a e b os pontos extremos de pertinência superior a IEAT.

1.1 Procedimentos metodológicos

1.1.1 Amostra e coleta dos dados

A amostra dos sistemas de terminação é constituída por vinte terminadores de suínos com escala de produção de 200 a 500 animais, pertencentes aos municípios de Feliz, Bom Princípio, São Vendelino, Harmonia e Tupandi no Vale do Caí (RS).⁴ Para o levantamento das informações foram feitas entrevistas qualitativas e aplicou-se um questionário composto de perguntas objetivas (para compor os itens relevantes do custo de produção de suínos como, por exemplo, preço

⁴ O espaço amostral foi definido a partir de consulta aos cadastros da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente) e de informações obtidas junto aos escritórios da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do RS (EMATER-RS) na região. As entrevistas com os suinocultores foram realizadas em abril e maio de 2002. A definição de uma região com características geográficas semelhantes é importante porque o impacto ambiental e os custos de produção são influenciados pelas características locais.

da ração, conversão alimentar média, horas de trabalho dedicadas à suinocultura, custo de entrada do leitão, despesas financeiras, despesas com energia, entre outros) e não-objetivas que visavam: a) captar a percepção do suinocultor quanto à importância da relação de integração; b) captar a percepção do impacto ambiental da produção de suínos; c) dimensionar, a partir da “experiência” do produtor, a escala mínima viável de operação e o nível de satisfação com a renda da atividade. As informações obtidas permitiram o cálculo dos custos de produção de cada produtor.

Seguindo a proposta de Cornelissen *et al.* (2001, p. 181) para *approximate reasoning* aplicado ao desenvolvimento sustentável, organizou-se o modelo em torno dos conjuntos de aceitabilidade e de inaceitabilidade do impacto econômico e ambiental. Especificamente quanto ao impacto ambiental, investigou-se se o criador já operara sem sistema de controle de dejetos, se percebera melhora após o emprego de um ou outro sistema, e se percebia poluição mesmo com o uso de sistema de controle. Percebendo ele haver poluição remanescente após implantação de controle, ela foi tratada como impacto ambiental negativo inaceitável, e pediu-se que a classificasse como alta, média ou baixa para seus efeitos nas águas, no solo e no ar. A percepção de poluição inexistente foi transposta como impacto ambiental negativo inaceitável baixo.⁵ O produtor que comparou o esterco de cama sobreposta após a compostagem com “terra de mato” teve o impacto no solo traduzido como impacto ambiental negativo aceitável baixo.⁶

Os dados dos especialistas foram obtidos por meio de um questionário específico respondido por três profissionais de nível superior, com experiência em atividades relacionadas ao impacto ambiental provocado pela suinocultura. Para o impacto nas águas, inquiriu-se se haveria impacto do maior consumo esperado em cama – aumento de 0,25 litros de água suíno/dia (OLIVEIRA, 2000 e 2001; PERDOMO, 2002) – e, em caso afirmativo, se consideravam muito alto, alto, baixo ou muito baixo tal ocorrência para as condições de relevo e ocupação populacional da região. Definiu-se a aceitabilidade de 0 a 16,8 litros suíno/dia e a inaceitabilidade a partir de 8,4 litros suíno/dia, consumo estimado com 98% de bebedouros regulados e higienização sem uso de lava-jato (PERDOMO, 2002). A seguir, solicitou-se que ponderassem acerca da aceitabilidade ou da inaceitabilidade do impacto no ar e no solo, e a classificassem em termos de muito alto, alto, baixo ou muito baixo para

⁵ Na perspectiva adotada, o modelo não contempla a inexistência de impacto ambiental negativo da terminação intensiva e confinada de suínos. A tradução cautelosa da inexistência de poluição para impacto negativo inaceitável baixo deve-se ao freqüente subdimensionamento das esterqueiras e aos relatos dos criadores informando lançamento de dejetos em lavours em prazo inferior ao recomendado na literatura.

⁶ Após narrativa livre do entrevistado, mesmo que estimulado a classificar sua posição em alto, médio ou baixo à aceitabilidade, repetiu a resposta discursiva. Este criador era o único a operar nos dois sistemas.

emissão de amônia (considerando a Norma Regulamentadora 15 da legislação do Trabalho) e concentração de nutrientes nos dejetos (para o uso como adubo em lavoura de milho), respectivamente.

1.1.2 O custo de produção e a construção da variável custo aceitável

O cálculo básico dos custos de produção por quilograma de suíno terminado para a amostra está baseado no método proposto por Girotto (2000), com algumas adaptações para a etapa de terminação.⁷ Após a composição primária dos dados de custo fez-se a associação do valor do custo para os suinocultores, segundo os respectivos graus de pertinência ao conjunto *fuzzy* custo aceitável.

O custo de R\$ 0,87, o mais baixo da amostra de produtores da região, recebeu grau de pertinência $\mu_{\text{Custo aceitável}}(x_i) = 1$ ao conjunto “custo aceitável”. O custo de R\$ 1,15, correspondente ao preço do quilo vivo praticado na região em abril e maio de 2002 para produtores independentes, recebeu $\mu_{\text{Custo aceitável}}(x_i) = 0,5$. É o ponto de ambigüidade porque nele o produtor, vendendo no mercado livre da época, não tinha lucro ou prejuízo. Valores iguais ou superiores a R\$ 1,29 por quilo de suíno têm $\mu_{\text{custo aceitável}}(x_i) = 0$ porque este é o teto de remuneração esperada, correspondendo ao “preço de mercado” de R\$ 1,15 por quilo acrescido de até 12% pela qualidade da carcaça (ABCS, 2002), (Tabela 1).

O conjunto *custo aceitável* = { 1/0,87 , 0,5/1,15, 0/1,29 } está no Gráfico 1.

Os valores de pertinência intermediários aos graus de pertinência 1, 0.5 e 0 seguem as funções lineares ($\mu_A(x)$) seguintes.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Custo baixo}}(x_i) &= 1 && \text{para } x_i < 0,87 \\ \mu_{\text{Custo baixo}}(x_i) &= (1,43 - x_i) / 0,56, && \text{para } \text{R\$ } 0,87 \leq x_i \leq \text{R\$ } 1,15, x_i \in \mathbb{R}_+; \\ \mu_{\text{Custo baixo}}(x_i) &= (1,29 - x_i) / 0,42, && \text{para } \text{R\$ } 1,15 < x_i \leq \text{R\$ } 1,29, x_i \in \mathbb{R}_+; \\ \mu_{\text{Custo baixo}}(x_i) &= 0 && \text{para } x_i > 1,29; \text{ sendo } x_i = \text{custo total de terminação por Kg/suíno.} \end{aligned}$$

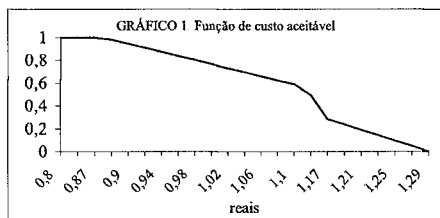


Gráfico 1. Função de custo aceitável

⁷ Foram utilizados preços médios de maio de 2002 pagos pelos produtores rurais e coletados pela EMATER-RS nas regiões representativas da produção agropecuária do Estado. Alguns preços foram coletados pelos autores. Para detalhes ver: Rohenkohl, J.E. (2003).

Tabela 1- Custo de produção dos sistemas de terminação e pertinência à variável custo aceitável.

Produtor e Tipo de piso	Custo (R\$/Kg suíno terminado)	Pertinência à variável custo aceitável
A – ripado	1,22	0,17
B – liso	1,28	0,02
C – cama	1,37	0,00
D – liso	1,27	0,05
E – liso	1,36	0,00
F – liso	1,23	0,14
G – liso	0,91	0,93
H – ripado	0,87	1,00
I – ripado	0,90	0,95
J – ripado	0,91	0,93
L – ripado	0,91	0,93
M – ripado	0,92	0,91
N – ripado	0,94	0,88
O – ripado	0,90	0,95
P – ripado	0,96	0,84
Q – liso	0,97	0,82
R – ripado	0,97	0,82
S – liso	1,13	0,54
T – liso	1,11	0,57
U – cama	0,91	0,93
V – cama	0,95	0,86

Fonte: Rohenkohl (2003)

1.2. A inferência do impacto econômico e ambiental total

A inferência do impacto econômico e ambiental tomou como referência o “custo aceitável” mais freqüente entre os produtores (R\$ 0,91), que corresponde a $\mu_{\text{Custo aceitável}}(x_1) = 0,93$. Este valor serviu para efetuar a intersecção com os indicadores de impacto ambiental, construídos a partir da ordenação da percepção de suinocultores e de agrônomos. Eles avaliaram a aceitabilidade ou a inaceitabilidade do impacto da produção de suínos no ar, nas águas superficiais e no solo (apenas os suinocultores). Foram efetuados, assim, dois processos de inferência.

O Quadro 1 sintetiza as variáveis lingüísticas expressas nos valores lingüísticos aceitável e inaceitável associados aos graus de pertinência ($\mu_A(x)$) e às respectivas bases de regras *fuzzy*.

A intersecção dos conjuntos foi efetuada através do operador (min), $\min(\mu_A x_1 \cap \mu_B x_2 \cap \mu_C x_3 \cap \mu_D x_4)$, onde (min) é mínimo dos graus de pertinência; A, B, C e D são as variáveis lingüísticas que participam da inferência com os valores lingüísticos aceitável ou inaceitável, a cada uma correspondendo uma variável base (x_i).⁸

O resultado da intersecção é o Impacto Econômico e Ambiental (IEA), Impacto Econômico e Ambiental Total (IEAT), com μ_{IEA} representando a pertinência (eixo vertical) no intervalo [0,1] aos valores lingüísticos (S) muito ruim, ruim, razoável, bom, muito bom. A variável base IEA foi criada variando no intervalo [0,1] (eixo horizontal). A agregação das situações possíveis para cada sistema utilizou-se o operador max ($\mu_{S_1}(\text{IEA}), \mu_{S_2}(\text{IEA})$), onde max é o máximo e S é a valor lingüístico do IEA da situação inferida. A Figura 1 apresenta um esquema da inferência para hierarquizar o Impacto Econômico e Ambiental Total (IEAT).

O valor da variável de saída IEAT (IEA Total) foi obtido pelo método de defuzzificação da Média dos Máximos (MM) = $[(\text{IEAa} + \text{IEAb}) / 2]$. O IEAT varia de zero até um. Quanto mais próximo de um o valor da defuzzificação, e quanto maior a área sob a decisão geral *fuzzy*, melhor o IEA Total.

⁸ Utilizaram-se funções de pertinência com segmentos lineares devido a sua adequação para situações de pouca informação (BOJADZIEV E BOJADZIEV, 1995, p. 36 e 37). A associação entre a avaliação do respondente (muito alto, alto, baixo, muito baixo) e o valor de pertinência ao conjunto de aceitabilidade ou de inaceitabilidade do impacto ambiental negativo seguiu padrão apresentado por Ragin (2000, p. 265).

Quadro 1. Variáveis lingüísticas e base de regras fuzzy dos suinocultores e agrônomos

Variáveis Lingüísticas dos Suinocultores (VLS)	Valor de μ_A
Ar (percebido apenas pelo olfato), águas superficiais e solo	
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “alta” a impacto negativo	0,75
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “média” a impacto negativo	0,50
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “baixa” a impacto negativo	0,25
Base de Regras Fuzzy dos Suinocultores	IEA*
Quatro associações a conjuntos inaceitáveis	Muito ruim
Três associações a inaceitável e uma a aceitável	Ruim
Duas associações a inaceitável e duas a aceitável	Razoável
Uma pertinência a inaceitável e três a aceitável	Bom
Quatro associações a aceitável	Muito bom
Variáveis Lingüísticas dos Agrônomos (VLA)	Valor de μ_A
ar (impacto pelo volume de emissão de amônia) e água (impacto pelo consumo diário de água potável por suíno)	
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “muito alta” a impacto negativo	0,8
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “alta” impacto negativo	0,6
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “baixa” impacto negativo	0,4
Percepção de aceitabilidade/inaceitabilidade “muito baixa” impacto negativo	0,2
Base de Regras Fuzzy dos Agrônomos	IEA*
Três associações a conjuntos inaceitáveis	Muito ruim
Duas associações a inaceitável e uma a aceitável	Ruim
Uma associação a inaceitável e duas a aceitável	Bom
Três associações a aceitável	Muito bom

Fonte: Rohenkohl (2003)

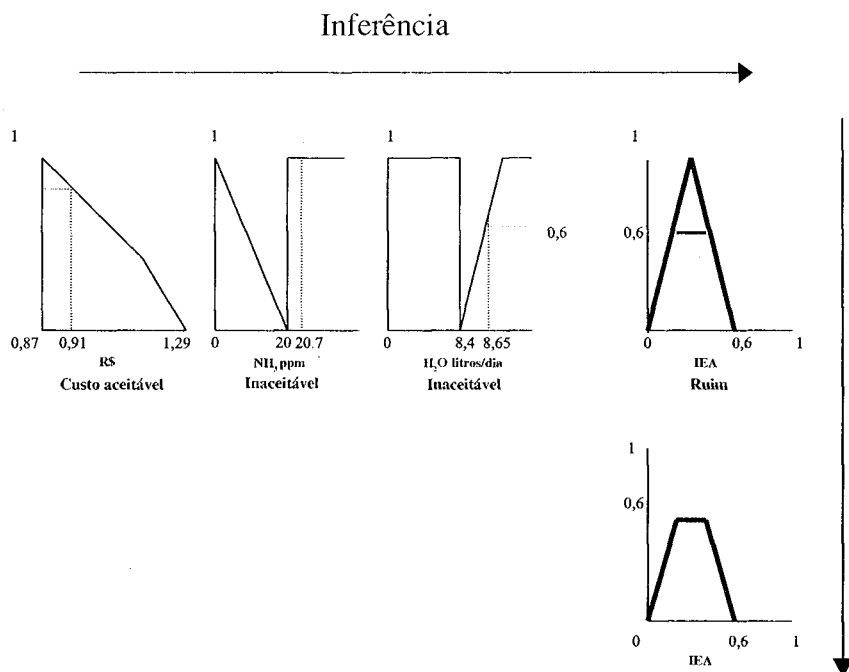


Figura 1. Esquema de inferência e agregação para obter o IEAT

1.2.1 O IEAT para os agrônomos

Para o IEA considerou-se a aceitabilidade para o impacto dos sistemas de terminação no ar até 40 partes de amônia por milhão, deixando o limite legal de 20 ppm⁹ com $\mu_{\text{aceitabilidade}} = 0,5$. A partir de 20 ppm inicia-se a pertinência ao conjunto inaceitável. A inaceitabilidade tem outro ponto crítico em 30 ppm porque a legislação prevê um intervalo de intensificação na toxicidade até 1,5 vez a referência de 20 ppm. Houve diversidade de opiniões quanto à graduação da pertinência entre 20 e 30 ppm.

O consumo de água potável no sistema considerado aceitável é de até 16,8 litros suíno/dia, e a medida de 8,4 litros suíno/dia possui $\mu_{\text{aceitabilidade}} = 0,5$. A inaceitabilidade inicia em 8,4 litros/dia, havendo diversidade nas opiniões quanto ao ponto $\mu_{\text{inaceitabilidade}} = 1$.

⁹ São os padrões da legislação do trabalho (Norma Regulamentadora 15) para jornadas de trabalho com exposição ao gás de até 48 horas semanais.

Custo aceitável

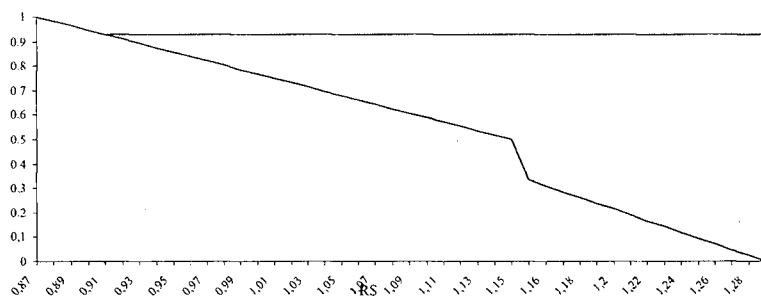


Figura 2.1 Custo aceitável

Impacto negativo ar

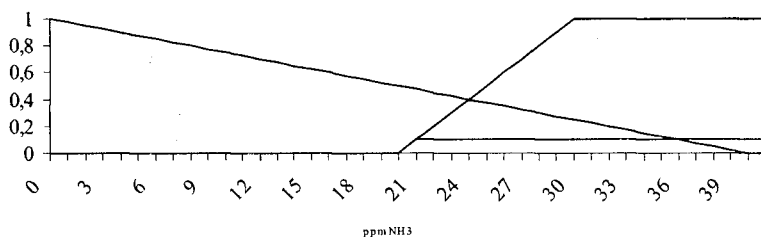


Figura 2.2 Impacto negativo ar

IEA Ruim

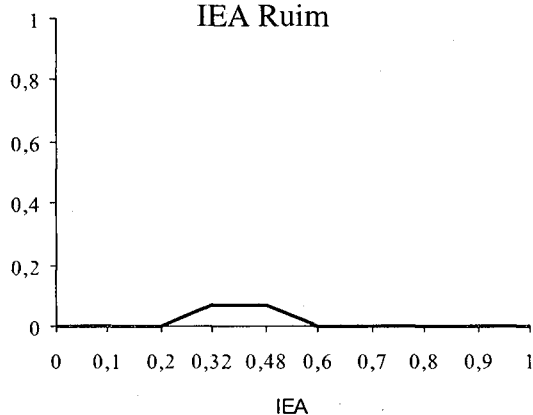


Figura 2.3 IEA Ruim

Figura 2. IEA Total sistema esterqueira para percepção de agrônomos.

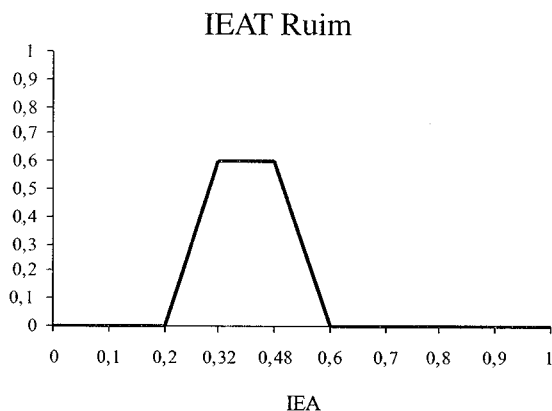
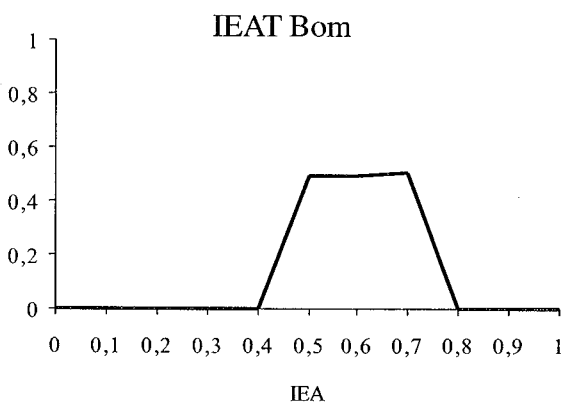


Figura 2.4 IEAT Ruim



Figuras 2.5 IEAT Bom

1.2.1.1 O resultado para o sistema de esterqueiras

As funções de pertinência do IEAT resultante para o sistema de esterqueiras são:

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = 0, \quad \text{para } 0 \leq x \leq 0,4;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = (x - 0,4) / (0,6 - 0,4), \quad \text{para } 0,4 < x \leq 0,5;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = 0,5, \quad \text{para } 0,5 < x \leq 0,7;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = (0,8 - x) / (0,8 - 0,6), \quad \text{para } 0,7 < x \leq 0,8;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = 0, \quad \text{para } 0,8 < x \leq 1; \text{ com } x = \text{I.E.A. e } x \in \mathbb{R}_+$$

A defuzzificação pela Média dos Máximos resulta em:
 $MM_{ae} = (0,5 + 0,7) / 2 = 0,6$.

1.2.1.2 O resultado para o sistema de cama sobreposta

As funções de pertinência que representam o IEAT para a cama sobreposta são:

$$\mu_{IEA\ Cama} = 0 \text{ para } 0 \leq x \leq 0,2;$$

$$\mu_{IEA\ Cama} = (x - 0,2) / (0,4 - 0,2) \quad \text{para } 0,2 < x \leq 0,32$$

$$\mu_{IEA\ Cama} = 0,6, \quad \text{para } 0,32 < x \leq 0,48;$$

$$\mu_{IEA\ Cama} = (0,6 - x) / (0,6 - 0,4) \quad \text{para } 0,48 < x \leq 0,6$$

$$\mu_{IEA\ Cama} = 0, \text{ para } 0,6 < x \leq 1 \quad \text{com } x = \text{I.E.A. e } x \in R_+$$

A defuzzificação resulta em: $MM_{acs} = (0,32 + 0,48) / 2 = 0,4$.

Portanto, comparando o IEA Total dos sistemas de terminação, a partir da percepção dos agrônomos, verifica-se a superioridade do sistema de esterqueiras.

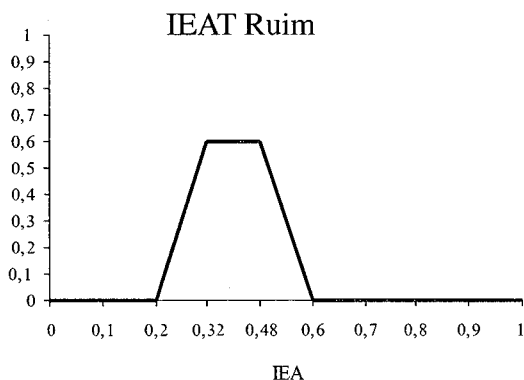


Figura 3. O IEA Total para cama sobreposta

1.2.2 O IEAT para os suinocultores

O gráfico do IEA resultante tem no eixo vertical a associação ao impacto negativo aceitável ou a impacto negativo inaceitável, a partir da tradução da expressão lingüística para graus de pertinência (numérica) descrita acima. Para o eixo horizontal, criou-se, para cada con-

junto de impacto ambiental (ar, águas e solo) um intervalo de 0 a 1 que capta a variável de impacto ambiental (IA). Isso foi necessário, pois os suinocultores não se expressaram com variáveis lingüísticas relacionadas a unidades objetivas (como ppm).

As funções de pertinência para os conjuntos do IA no solo, água e ar para os suinocultores são da seguinte forma:

$$\mu_{Aceitabilidade}(x) = (0,5 - x) / 0,5, \text{ para } 0 \leq x \leq 0,5, \quad x \in R_+;$$

$$\mu_{Inaceitabilidade}(x) = (x - 0,5) / 0,5, \text{ para } 0,5 < x \leq 1, x \in R_+; \quad x = \text{Impacto Ambiental}$$

1.2.2.1 O resultado para o sistema de cama sobreposta

Para o sistema cama sobreposta ocorreram duas situações, IEA ruim e IEA razoável. As funções de pertinência das situações possíveis agregadas no IEAT do sistema de cama sobreposta são definidas como:

$$\mu_{IEA \text{ Cama}} = x / 0,2, \quad \text{para } 0 \leq x \leq 0,05;$$

$$\mu_{IEA \text{ Cama}} = 0,25, \quad \text{para } 0,05 < x \leq 0,55;$$

$$\mu_{IEA \text{ Cama}} = (0,6 - x) / 0,2, \quad \text{para } 0,55 < x \leq 0,6;$$

$$\mu_{IEA \text{ Cama}} = 0, \quad \text{para } x > 0,6; \quad \text{com } x = \text{I.E.A. e } x \in R_+.$$

O resultado da defuzzificação para cama sobreposta é

$$M.M_{scs} = (0,05 + 0,55) / 2 = 0,3.$$

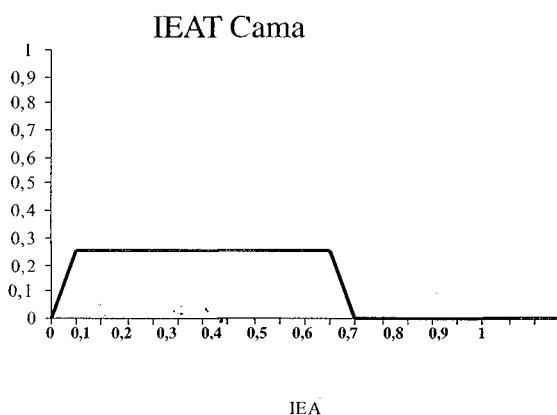


Figura 4: Função de pertinência IEA total para cama sobreposta para suinocultores

1.2.2.2 O resultado para o sistema de esterqueiras

Apenas a regra que implica IEA Ruim resultou como plausível no sistema com esterqueiras, segundo os suinocultores. Isto significa que sempre houve três associações a inaceitável e uma a aceitável, não importando a ordem da classificação. A conclusão geral fuzzy é, então, o resultado desta situação da base de regras. O IEAT resultante é representado pelas seguintes funções de pertinência:

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = x / 0,2, \quad \text{para } 0 \leq x \leq 0,05;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = 0,25, \quad \text{para } 0,05 < x \leq 0,35;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = (0,4 - x) / 0,2, \quad \text{para } 0,35 < x \leq 0,4;$$

$$\mu_{IEA \text{ Esterqueira}} = 0, \quad \text{para } x > 0,4; \quad \text{com } x = IEA \text{ e } x \in R_+.$$

Como esta é a única combinação possível para os suinocultores, defuzzifica-se o resultado pela Média dos Máximos (M.M.).

$$M.M._{se} = (0,05 + 0,35) / 2 = 0,2.$$

Portando, como $M.M._{scs}$ é maior que $M.M._{se}$, tem-se que na percepção dos suinocultores o sistema em cama sobreposta apresenta possibilidades mais promissoras e superiores em termos de IEA em comparação ao sistema com esterqueiras.

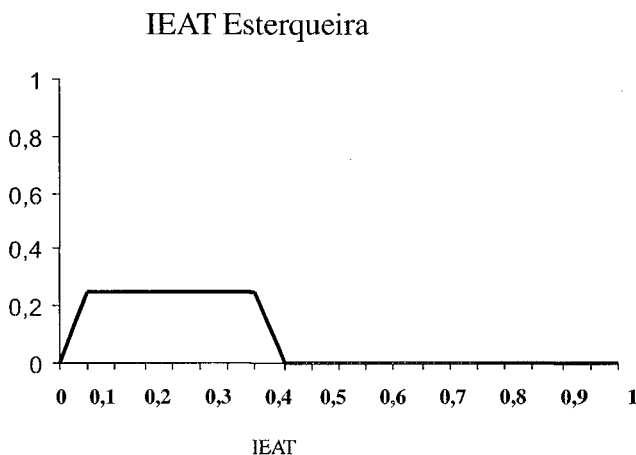


Figura 5. Resultado da inferência do IEAT para esterqueira.

2. Considerações finais

A partir da amostra considerada, pode-se afirmar que o sistema de terminação de suínos, cama sobreposta ou esterqueira (bem como os subtipos piso ripado ou piso liso), não é fator determinante para a obtenção de um custo baixo (aceitável) de produção na região. O sistema cama sobreposta possui instalações mais baratas, o que reduz a necessidade de financiamento para investimento e implica menor custo de depreciação. No entanto, no contexto da região estudada, outros fatores atuaram em sentido contrário, como o custo de reposição da cama e a conversão alimentar.

O modelo construído com a percepção dos suinocultores indica que o sistema de terminação em cama é superior ao de esterqueira, econômica e ambientalmente. De modo diferente, no modelo utilizando a percepção dos agrônomos, não é possível concluir em definitivo qual o melhor sistema. Houve a dificuldade de construir o módulo de impacto ambiental no solo para uso com os agrônomos, já que é altamente dependente de circunstâncias, tais como a taxa de aplicação no solo, a fertilidade atual do solo, a composição do solo, o cultivar da lavoura, a produtividade deste cultivar e outros aspectos. A disponibilidade destas informações, a partir de novos estudos específicos, poderá completar a análise usando o mesmo modelo.

O uso do método de interseção utilizando apenas custo de produção, emissão de amônia e consumo de água indica que o sistema de esterqueira é superior ao sistema de cama sobreposta. No entanto, as opiniões dos agrônomos direcionam para um possível menor impacto no solo do sistema de cama. Os aspectos geográficos (encostas, propriedades dispersas em “picadas”) e edafo-climáticos (como os níveis de precipitação e temperatura) da região fazem com que o impacto ambiental (decorrente do maior consumo de água potável) seja bastante negativo. Há de se considerar também que a redução de consumo de água na suinocultura esteve tradicionalmente relacionada com a preocupação de excessiva diluição e com o volume dos dejetos, e não com o impacto sobre a disponibilidade de água, o que talvez faça o conjunto fuzzy de consumo de água estar um tanto superavaliado.

A divergência, nas circunstâncias explicadas acima, entre a percepção dos suinocultores e a dos agrônomos, é indicativa de que se está distante de uma posição inquestionável. É necessário cautela no processo de difusão do sistema de cama sobreposta, especialmente em áreas de características econômicas, de relevo e de dispersão populacional rural semelhante, uma vez que o consumo de água mais intenso pode se tornar uma dificuldade adicional à expansão da

suinocultura na região. Nesse sentido, o resultado da análise sugere a necessidade de mais pesquisa sobre o tema. De forma geral, é recomendável a difusão localizada do sistema de terminação de suíno mais adequado econômica e ambientalmente para cada região produtora.

Da perspectiva metodológica, pode-se afirmar que este trabalho contribuiu para a demonstração de que o uso de conjuntos *fuzzy* é útil nos casos em que é necessária a hierarquização de seleção de opções econômicas, sujeitas à indefinição (ou impossibilidade de se determinar com precisão) de valores monetários associados a elas, como são casos especiais os “valores” de impacto ambiental. O modelo aqui proposto, embora simples, poderia ser ampliado para aprofundar comparações entre outros sistemas de controle de dejetos, incorporando outros (ou novos) elementos técnico-produtivos do sistema, cujos melhoramentos levam às mudanças de posição relativa entre as opções. Por exemplo, poder-se-ia compor novos modelos *fuzzy* incorporando as novas técnicas de retirar nitrogênio dos dejetos e/ou mesmo o impacto do biodigestor. Os conjuntos *fuzzy* podem, assim, ser uma ferramenta interessante para o economista, uma vez que permitem tratar formalmente a incerteza, a ambigüidade, e incorporar elementos com múltiplos valores, com critérios subjetivos, com associações incertas e de difícil medição.

Referências

- ALVES DOS REYS, M. *Farming and rural systems analyses in Forest margins: an application of fuzzy theory. The case of west Tocantins, Brazil*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS. *Informativo on-line* Disponível em <http://www.abcs.com.br>. Acesso em: 14/11/2002.
- BECKER, B. Sustainability Assesment: a Review of Values, Concepts and Methodological Approaches. *Issues en Agriculture* n. 10: Worldbank CGIAR, Washington, DC. 1997.
- BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. *Fuzzy sets, fuzzy logic, applications*. World Scientific Publishers Co. Pte. Ltd. Singapure, 1995.
- CLAYTON M H. & RADCLIFFE N. J. *Sustainability. A Systems Approach*. Earth Scan Publications Ltd, London, 1996.
- CORNELISSEN, A. M. G.; VAN DEN BERG, J.; KOOPS, W. J.; GROSSMAN, M.; UDO, H.M.J. Assesment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. *Agricultural, Ecosystems and Environment* 86, p. 173-185, 2001.
- GIROTTO, A. F.; SANTOS FILHO, J. I. *Custo de produção de suínos*. EMBRAPA-CNPISA, 2000.
- KUNZ, A. Remoção de nitrogênio em dejetos suínos. *Suínos e Aves*. Informativo do Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves EMBRAPA. p.08. Abril/2005.

- MATTEWS, L. R. Animal welfare and sustainability of production under extensive condition: a non EU perspective. *Applied Animal Behaviour Science*. v.49, pp.41-46, 1996.
- OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A.. Estimativa das condições de conforto térmico para a avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.25, n.2, p.300-307, maio/ago. 2005.
- OLIVEIRA, P. A.. Produção de suínos em sistema deep bedding: experiência brasileira. 5º *Seminário Internacional de Suinocultura*. São Paulo, 2000.
- OLIVEIRA, P. A.. Sistema de produção em cama sobreposta "deep bedding". 9º *Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura*. Gramado – RS, 2001.
- PERDOMO, C. Custos do dejetos suíno. *Suinocultura Industrial*, n. 7: Ediagro, p.12. 2002.
- RAGIN, C. *Fuzzy-set social science*. Chicago: The University of Chicago Press, 2000.
- ROHENKOHL, J. E. Os sistemas de terminação de suínos: uma análise econômica e ambiental a partir da teoria dos conjuntos fuzzy. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) Departamento de Economia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- SILVERT, W. Ecological impact classification with fuzzy sets. *Ecological Modeling*. n. 97 pp.1-10, 1997.
- STRANDBERG, E; GRANDINSSON, K. Adjusting for seasonal effects in an animal model using fuzzy classification. *Interbull Meeting*. Vienna, Austria. 1997. Disponível em <http://elib.tiho-hannover.de/publications/6wegalp/papers/25633.pdf>. Acesso em 08/06/2006.
- ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Memorandum ERL-M 411*. Berkeley, October 1973.
- ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Kluwer Academic Publishers. USA, 1991.